

A BOLTZMANN-FÉLE ÁLLANDÓ MEGHATÁROZÁSA LABORATÓRIUMI GYAKORLATON TRANZISZTOR ALKALMAZÁSÁVAL

Írta: HALÁSZ TIBOR

Tanszékünk egyik kutatási területe — szoros összhangban a tantervi reformmal — a tanárképző főiskolai fizikaoktatás korszerűsítése. E komplex feladat jelentős része a hallgatói laboratóriumi gyakorlatok átdolgozása, amelyeknek többféle szempont igényeit figyelembe véve kell megtörténnie.

Szükséges a hagyományos gyakorlatok átültetése korszerű eszközökre, új gyakorlatok beállítása a modern fizika jelenségei és kifejlesztett eszközei sajátosságainak megismertetésére (tranzisztorok, radioaktivitás, lézerek stb.), de legfontosabb, minőségileg a legtöbb újat adó az egyetemes fizikai állandók, valamint a mikrofizikai objektumok jellemző mennyiségei laboratóriumi gyakorlaton elvégezhető méréseinek megvalósítása.

Ez utóbbi szempont alapján az elmúlt évben lehetővé tettük hallgatóink számára a *Planck*-féle állandó mérését és az elektorn specifikus töltésének meghatározását. Következő feladatnak a *Boltzmann*-féle állandó laboratóriumi gyakorlatokon történő meghatározását választottuk.

Célunk — a tanszék pillanatnyi eszközállományát figyelembe véve — két úton látszott elérhetőnek. A *Brown*-mozgásnak vizsgálatával és tranzisztor alkalmazásával.

Az első módszer előnye, hogy a hőmozgás közvetlen megfigyelésén alapul, felhasználja ennek a különleges mozgásformának statisztikus jellegét, erősíti a molekuláris hőtán — hallgatóink számára — újszerű tárgyalási módját. Hátránya viszont, hogy a mérés hibája 25—30%-os és ez a hiba nem is igen csökkenthető.

A másik eljárás mód nem annyira szemléletes, viszont alkalmas arra, hogy 5%-os hibán belül mérjenek hallgatóink. Többek között ez indokolja dolgozatom témaválasztását, a *Boltzmann* állandó tranzisztorral történő mérését INMAN és MILLER [3] alapgondolatának felhasználásával.

Az elektromos vezetés „pn” réteg esetében többféle mechanizmus szerint történik. Így a teljes áram vizsgálatánál három különböző típusú összetevőt kell figyelembe venni. Ezek különböző módon függnek a rétegekre kapcsolt feszültségtől, de mindegyik változása leírható a következő exponenciális függvénnyel:

$$I = I_0 e^{\frac{qU}{mkT}},$$

ahol I_0 a félvezető anyagától és a mérési körülményektől függő áram, q az elemi töltés, U a külső feszültség, k a Boltzmann-féle állandó, T a félvezető dióda hőmérséklete Kelvin fokban, m pedig a vezetési mechanizmusra jellemző állandó. Diffúziós áramnál $m=1$, rekombinációs áramnál $m=2$, a felületi áramoknál $m>2$, a különböző felületi hatásoktól függően.

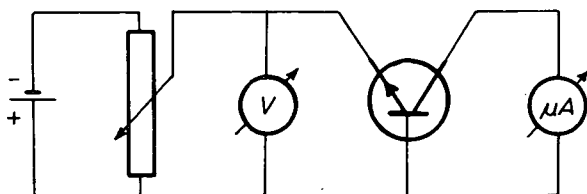
A közös bázisú kapcsolásban működtetett tranzisztorok rövidre zárt kollektor-

áramát — jól megválasztott emitter-bázis feszültség tartományban — főként a réteg-határon átdiffundált töltéshordozók határozzák meg [2]. A kollektoráram ilyen esetben az emitter-bázis feszültségtől függ úgy, mint az emitter-bázis diffúziós áram. Tehát

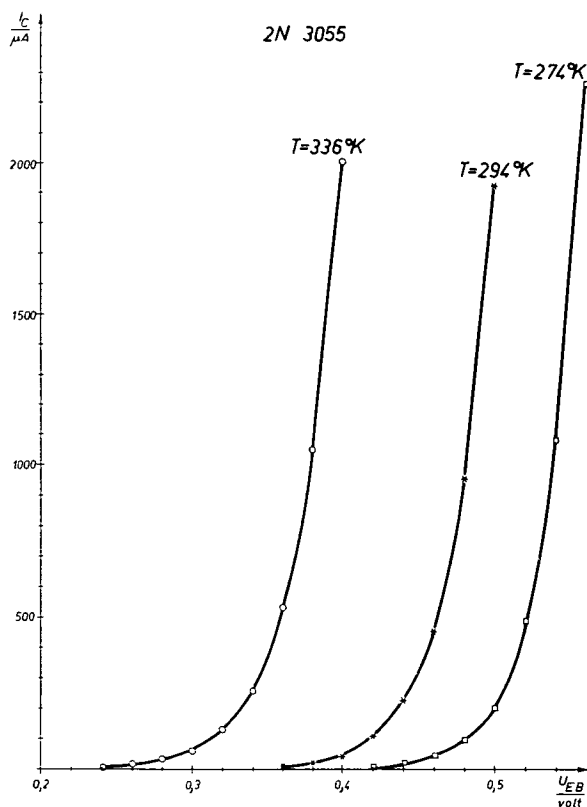
$$I_c = I_0 e^{\frac{qU_{EB}}{kT}}$$

összefüggés leírja a kollektoráram változását is.

Az 1. ábrának megfelelő módon kapcsolt „nnp” típusú szilícium tranzisztorok alkalmasnak látszanak a Boltzmann-féle állandó meghatározására. Háromféle — a kereskedelemben viszonylag könnyen és olcsón beszerezhető — tranzisztorral végeztem méréseket („BFY 33”, a „BD 241 A” és a 2N 3055” típusokkal).



1. ábra



2. ábra

1. táblázat

U_{EB} volt	BFY 33			BD 241 A			2N 3055		
	276 °K	294 °K	338 °K	276 °K	294 °K	341 °K	274 °K	294 °K	336 °K
	$\frac{I_c}{\mu A}$								
0,18									1
0,20									2
0,22									4
0,24									7
0,26									14
0,28									30
0,30								1	57
0,32			1					2	130
0,34			2	1		125		5	253
0,36			4	2		260	1	10	530
0,38			7	5		510	2	20	1050
0,40			12	10		1000	4	45	2000
0,42			26	3		2000	8	100	
0,44		1	50	6		55	18	220	
0,46		2	93	14		118	41	450	
0,48		4	190	31		250	90	950	
0,50	1	8	360	66		520	198	1920	
0,52	2	18	760	165		1130	485		
0,54	5	40	1560	380		2500	1080		
0,56	11	85	2550	820			2260		
0,58	24	175		1700					
0,60	51	360							
0,62	120	850							
0,64	310	1760							
0,66	700								
0,68	1650								

zott tranzisztoroknál a felhasznált exponenciális összefüggés a vizsgált tartományban 1% hibahatáron belül írja le a jelenséget, tehát teljesíthető a célként kitűzött 5%-nál kisebb hiba. Kis mozgási energiával rendelkező töltéshordozóknál — amikor a rekombináció nem hanyagolható el — ez nem valósul meg. Ezért a kollektoráram kezdeti szakaszát nem célszerű figyelembe venni.

A táblázatban közölt minden adat három mérés kerekített átlaga. A 2N 3055 jelű tranzisztornál mért adatokat grafikonon ábrázolva az exponenciális változást és a hőmérséklettől való függést jól szemléltető 2. ábrát kapjuk.

Az előző adatokat fél-logaritmikus rendszerben felrajzolva olyan egyeneseket nyerünk, amelyeknek iránytangense $\frac{q}{kT}$ (3. ábra).

Az egyenesek iránytangenseiből $\frac{q}{k}$ -ra a következő értékek adódnak:

BFY 33

$$276^\circ K\text{-on } \frac{q}{k} = 1,15 \cdot 10^4 \frac{C^\circ K}{J}$$

$$294^\circ K\text{-on } \frac{q}{k} = 1,12 \cdot 10^4 \frac{C^\circ K}{J}$$

$$338^\circ K\text{-on } \frac{q}{k} = 1,15 \cdot 10^4 \frac{C^\circ K}{J}$$

BD 241 A

$$276^\circ K\text{-on } \frac{q}{k} = 1,13 \cdot 10^4 \frac{C^\circ K}{J}$$

$$294^\circ K\text{-on } \frac{q}{k} = 1,12 \cdot 10^4 \frac{C^\circ K}{J}$$

$$341^\circ K\text{-on } \frac{q}{k} = 1,18 \cdot 10^4 \frac{C^\circ K}{J}$$

2N 3055

$$274^{\circ} \text{K-on } \frac{q}{k} = 1,11 \cdot 10^4 \frac{C^{\circ}K}{J}$$

$$294^{\circ} \text{K-on } \frac{q}{k} = 1,12 \cdot 10^4 \frac{C^{\circ}K}{J}$$

$$336^{\circ} \text{K-on } \frac{q}{k} = 1,19 \cdot 10^4 \frac{C^{\circ}K}{J}$$

$$\frac{q}{k} \text{ átlag} = 1,14 \cdot 10^4 \frac{C^{\circ}K}{J} \pm 4\%$$

$$\frac{q}{k} \text{ irod.} = 1,16 \cdot 10^4 \frac{C^{\circ}K}{J}$$

Ha figyelembe vesszük az elemi töltés irodalmi értékét, eredményünkéből a Boltzmann állandó értékére $1,14 \cdot 10^{-23} \frac{J}{^{\circ}K}$ adódik. Az irodalmi $1,38 \cdot 10^{-23} \frac{J}{^{\circ}K}$ értéktől való eltérése 2%.

Összefoglalva: a hőtanban megismert k mikrofizikai állandót szilárdtest-fizikai összefüggés alapján, az elektromosság makrofizikai mennyiségeinek mérésével határoztuk meg, szemléltetve ezzel annak univerzális jellegét;

a mérés egyszerű eszközökkel kétórás laboratóriumi gyakorlaton elvégezhető; mind a mérés hibája, mind az eredménynek az irodalmi értéktől való eltérése kisebb mint 5%.

IRODALOM

- [1] W. SHOCKLEY: Félvezetők elektronfizikája. Transzistorok elmélete. Műszaki Könyvkiadó, Bp., 1958.
 [2] TARNAY K.: Transzistorok alkalmazása. Tankönyvkiadó, Bp., 1964.
 [3] F. W. INMAN—C. E. MILLER: The Measurement of e/k in the Introductory Physics Laboratory. American Journal of Physics, 3. 349—351, 1973

BESTIMMUNG DER BOLTZMANN'SCHEN KONSTANTE MITTELS TRANSISTOR

T. Halász

Durch Messung des kurzgeschlossenen Kollektorstromes und der Spannung der Emitter-Basis eines in gemeinsamer Basis-Schaltung funktionierenden „npn“-Siliciumtransistors lässt sich bei Kenntnis der angewandten Temperatur der Quotient der elektrischen elementaren Ladung und der Boltzmann'schen Konstante, bzw. unter Verwendung der Literaturwerte der Elementarladung die Boltzmann'sche Konstante berechnen. Die Messung kann mit einfachen Mitteln im Rahmen der zweistündigen Laboratoriumsübungen der Hörer mit einem Messfehler von weniger als 5% durchgeführt werden.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОСТОЯННОЙ БОЛЬЦМАНА С ПРИМЕНЕНИЕМ ТРАНЗИСТОРВА

Т. Халас

Ток короткозамкнутого коллектора и напряжение измеряются переходом эмиттер-база кремниевого транзистора типа „npn“, в режиме с общим эмиттером. На основании полученных данных, зная значение применяемой температуры, предоставляется возможность для определения отношения элементарного электрического заряда и постоянной Больцмана. Из этого отношения, пользуясь значением элементарного заряда, взятым из литературы, определяется постоянная Больцмана.

Измерение проводится с применением несложных приборов на двухчасовых лабораторных занятиях студентов с ошибкой измерения не выше 5%.